

УДК 622.28.044:622.261.2

А. О. Новиков, И. Н. Шестопапов

*ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», Донецк, Украина*

## Исследования влияния усиления рамной крепи анкерами на процесс формирования вокруг выработки зоны разрушенных пород

С помощью моделирования на структурных моделях и моделях из эквивалентных материалов установлены новые особенности деформирования системы «рама – оболочка из скрепленных анкерами пород»

Ключевые слова: выработка, модель, рама, оболочка из скрепленных анкерами пород, особенности деформирования, система «рама – оболочка из скрепленных анкерами пород».

**Проблема и ее связь с научными или практическими задачами.** В настоящее время до 90% поддерживаемых горных выработок закреплены металлической арочной податливой крепью. До 17,5% из них на шахтах Украины деформировано и нуждается в ремонте. Среди основных причин неудовлетворительного состояния выработок - низкая несущая способность рамной крепи, а также несоответствие ее технических характеристик горно-геологическим условиям применения.

Одним из перспективных направлений улучшения состояния крепи выработок является ее усиление, в том числе за счет применения анкерования. В этой связи проведение исследований, направленных на установление особенностей деформирования массива, вмещающего выработку с комбинированной крепью для обоснования ее рациональных параметров, обеспечивающих устойчивое состояние поддерживаемых выработок, является актуальной научной задачей.

**Анализ основных исследований и публикаций.** В научно-технической литературе представлено большое количество исследований, посвященных изучению характера взаимодействия различных конструкций крепи с массивом. Это работы А.П.Широкова, В.Т.Глушко, А.А.Борисова, Н.И.Мельникова, Л.М. Ерофеева, А.Н.Зорина, И.А.Ковалевской, Б.К.Чукуна, А.В. Ремезова, И.А.Юрченко, А.Н.Шашенко, В.В.Виноградова, А.Югона, А.Коста и др.

Выполненный анализ работ, посвященных изучению взаимодействия комбинированной крепи и массива, а также разработке методик расчета их параметров, позволил авторам разделить их на 3 большие группы:

- первая группа работ учитывает наличие, усиливающей раму, анкерной крепи коэффициентом уменьшения смещений, который вводится в формулы для расчета ожидаемых смещений контура выработки и зависят от плотности установки анкеров [1];
- вторая группа работ рассматривает рамную и усиливающую рамную крепь как единую грузонесущую конструкцию, конструктивные параметры которой принимаются в зависимости от ожидаемых смещений контура незакрепленной выработки, горно-геологических и горнотехнических факторов, характеризующих условия ее заложения [2];
- третья группа работ рассматривает рамную и усиливающую крепь как единую связную конструкцию, параметры которой рассчитываются теоретически с использованием метода сил [3].

Вместе с тем, всем проанализированным работам присущ ряд недостатков. Так, в них не содержится четкого разграничения между существующими конструкциями комбинированных крепей на основе анкерных систем, при этом, механизм взаимодействия комбинированной крепи и вмещающего массива во времени практически не изучен. Кроме того, в известных методиках расчета параметров комбинированных крепей не установлено распределение нагрузок, воспринимаемых отдельными составными элементами системы «крепежная рама – оболочка из скрепленных пород», что не позволяет достоверно рассчитать их параметры.

В этой связи, **целью** настоящей работы является изучение влияния усиления рамной крепи анкерами на процесс формирования вокруг выработки зоны разрушенных пород (ЗРП).









### Изложение материала

Исследования проводились в два этапа.

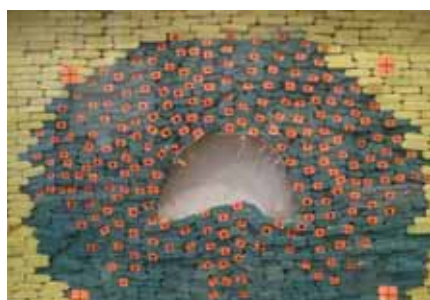
На первом этапе на структурных моделях проводились исследования влияния усиления рамной крепи анкерами на устойчивость выработки в зависимости от размера ЗРП, сформировавшейся к моменту установки анкеров. В структурных моделях, изготовленных из деревянных блоков различных размеров (масштаб модели 1:50), моделировались различные размеры ЗРП, сформировавшиеся в окрестности выработки к моменту установки анкеров (размер ЗРП – от 1 до 6м), глубина анкерования (длина анкера от 1 до 6м). Имитировались также различные схемы установки анкеров (радиальная, крестообразная и двухстадийная).

Характеристика моделей представлена в табл.1.

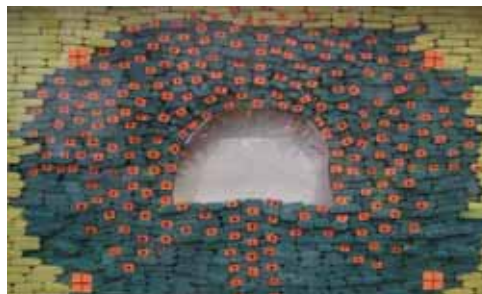
Таблица 1. Характеристика моделей

№ модели и схема установки анкеров		Ширина выработки, В, м		Высота выработки, h, м		Длина анкера в кровле, м	Размер зоны разрушенных пород, м
		в натуре	в модели	в натуре	в модели		
Модель № 1-6		5	0,05	3	0,03	-	1-6
Модель № 7-12		5	0,05	3	0,03	1	1-6
Модель № 13-18		5	0,05	3	0,03	2	1-6
Модель № 19-24		5	0,05	3	0,03	3	1-6
Модель № 25-30		5	0,05	3	0,03	4	1-6
Модель № 31-36		5	0,05	3	0,03	6	1-6
Модель № 37-42		5	0,05	3	0,03	2м + 6м	1-6
Модель № 43-48		5	0,05	3	0,03	пространс твенная 6м	1-6

Состояние моделей на момент окончания испытаний показаны на рис.1. Всего было испытано 48 моделей.



а)



б)

Рис.1. Состояние выработок в моделях 41 (а) и 46 (б) на момент окончания их отработки

Эффективность от усиления рамной крепи анкерами оценивалась по изменениям относительных смещений контура выработки при отработке модели. Графики зависимости относительных смещений контура выработки от относительного размера ЗРП, сформировавшегося на момент установки анкеров, показаны на рис.2.

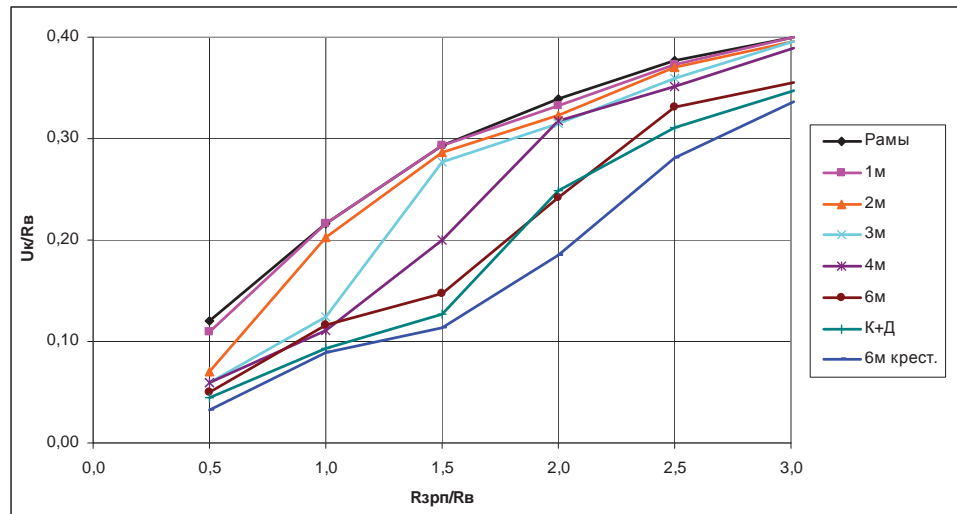


Рис.2. Смещения контура выработки от размера зоны разрушенных пород, сформировавшейся к моменту установки анкеров, в относительных единицах

Выполненные исследования показали, что при наличии вокруг выработки к моменту анкерования ЗРП с размером, сопоставимым с глубиной анкерования, эффективность усиления рамной крепи анкерами резко снижается.

Для установления особенностей влияния усиления рамной крепи анкерами на процесс формирования вокруг выработки ЗРП, выполнялось моделирование на эквивалентных материалах. Было отработано 12 моделей из гипсо-песчаных и парафино-песчаных смесей. Схема расположения выработки и реперов в моделях и общая характеристика моделей представлены на рис. 3 и в табл. 2.

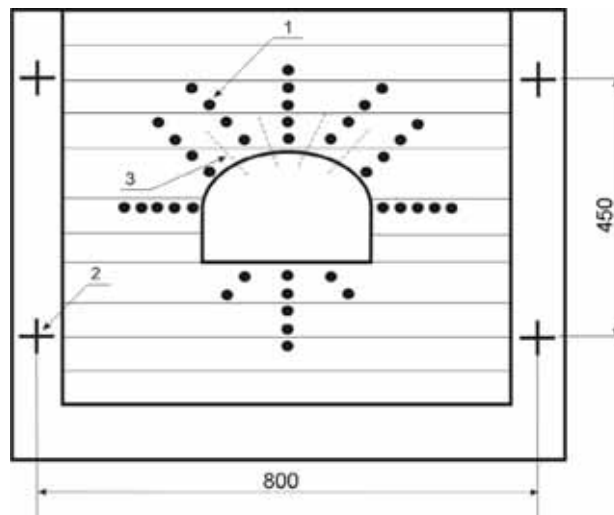


Рис.3. Схема расположения выработки и реперов в моделях из эквивалентных материалов

Имитировались различные горно-геологические условия ( $\gamma H / \sigma_{сж}$ ) и степень реализации геомеханических процессов во вмещающем массиве к моменту установки рамной крепи (она моделировалась относительной величиной конечных смещений контура выработки, реализовавшихся до установки анкеров,  $(U_{кр} / U_k)$ ).

Таблица 2. Характеристика моделей из эквивалентных материалов

№ модели	Ширина выработки, В, м		Высота выработки, h, м		Значение критерия устойчивости $\left(\frac{\gamma H}{\sigma_{сж}}\right)$	Относительная величина критических смещений, реализовавшихся до установки анкеров, $\left(\frac{U_{кр}}{U_k}\right)$ , ед.	Глубина анкерования, м
	в натуре	в модели	в натуре	в модели			
1-4	5	0,1	3	0,06	0,35	0; 0,25; 0,5; 0,75	2
5-8	5	0,1	3	0,06	0,44	0; 0,25; 0,5; 0,75	2
9-12	5	0,1	3	0,06	0,65	0; 0,25; 0,5; 0,75	2

Моделирование производилось следующим образом. Первоначально, в горно-геологических условиях  $\frac{\gamma H}{\sigma_{сж}}$  отрабатывалась модель с выработкой, закрепленной рамной податливой крепью и определялись конечные смещения на контуре, и размер ЗРП, сформировавшейся вокруг выработки. Затем, в этих же горно-геологических условиях, в последующих моделях имитировалась выработка, закрепленная рамной крепью, в которой после реализации заданной части от конечной величины смещений контура  $\left(\frac{U_{кр}}{U_k}\right)$ , между рамами устанавливалась усиливающая анкерная крепь и модель отрабатывалась до конца. Для измерения смещений реперов в модели использовался метод фотофиксации. Состояние выработки в модели №3 на различных этапах отработки показаны на рис. 4.

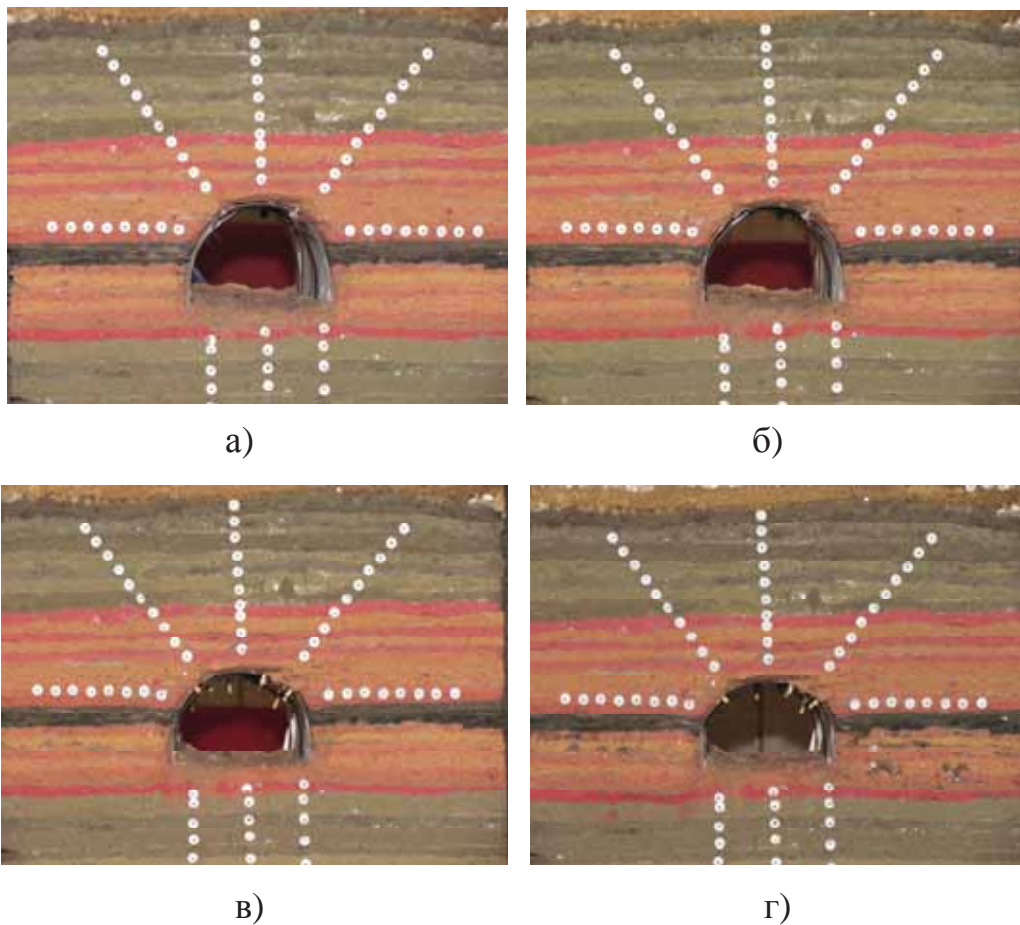


Рис.4. Состояние выработки в модели №3 на момент: (а) – проведения выработки; (б) – начала установки усиливающей анкерной крепи; (в) – окончания установки усиливающей анкерной крепи; (г) – окончания отработки модели

Обработка результатов производилась путем построения графиков зависимостей относительных смещений глубинных реперов в кровле выработки и коэффициента разрыхления пород между реперами от расстояния до контура при различной величине критических смещений, реализовавшихся до установки анкеров (рис.5).

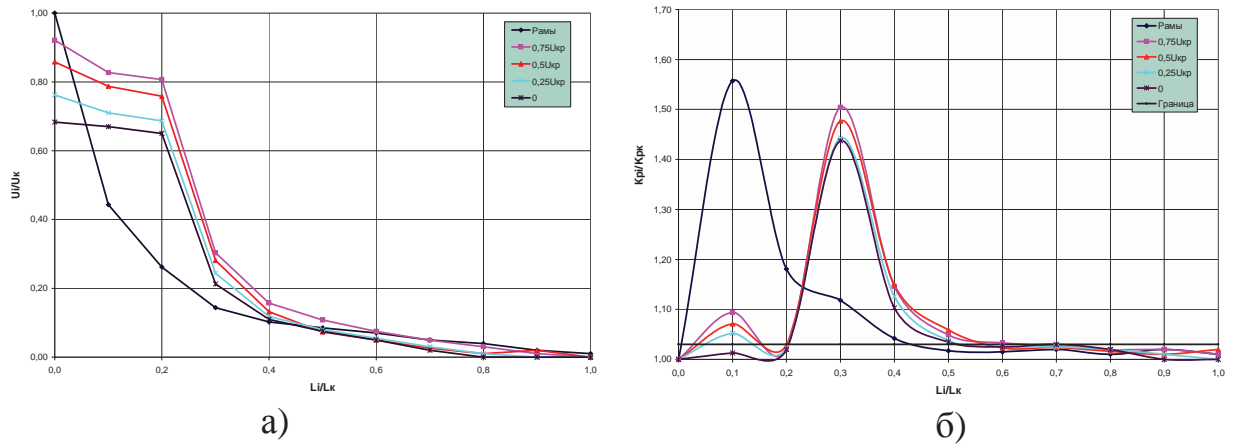


Рис.5. Графики зависимости относительных смещений глубинных реперов в кровле выработки (при  $\gamma_H/\sigma_{сж} = 0,65$ ) (а) и коэффициента разрыхления пород между реперами (б) от расстояния до ее контура при различной величине критических смещений, реализовавшихся до установки анкеров

Как видно из представленных графиков (рис. 5а), что усиление рамной крепи без отставания от забоя по проведению выработки позволило на 32 % уменьшить конечные смещения контура по сравнению с выработкой, закрепленной только рамами. В моделях же, где усиление анкерами производилось не сразу (после реализации 25, 50 и 75 % конечных смещений, при этом размер сформировавшейся ЗРП составлял соответственно 0,15; 0,35 и 0,55 от глубины анкерования) смещения контура к моменту окончания отработки модели составили соответственно на 26, 14 и 8 % меньше, по сравнению с выработкой, закрепленной только рамами. Установка анкерной крепи усиления также качественно меняет картину формирования ЗРП и зоны неупругих деформаций вокруг выработки (ЗНД). Так, (см. рис.5б) усиление анкерами позволяет до 30% уменьшить конечный размер ЗНД, формируемый вокруг выработки с рамной крепью. При этом, целостность, а следовательно природную прочность и несущую способность оболочки пород, усиленной анкерами возможно сохранить (при  $\gamma_H/\sigma_{сж} = 0,65$ ) только при одновременной установке рамной и анкерной крепи. В остальных случаях (после реализации 25, 50 и 75 % конечных смещений), происходит частичное или полное разрушение области пород, усиленной анкерами. Если вокруг выработки с рамной крепью образуется ЗРП с размером 0,43 от размера ЗНД с максимальным разрыхлением пород на удалении 0,1 от размера ЗНД, то при установке усиливающей анкерной крепи максимальное значение коэффициента разрыхления пород смещается в глубь на 0,2 размера ЗНД. Внешняя же граница ЗРП, в зависимости от степени реализации геомеханических процессов в массиве к моменту усиления рамной крепи (25, 50 и 75 % конечных смещений) находится на удалении 0,5–0,63 от размера ЗНД. Аналогичные данные были получены при отработке других моделей.

В результате проведенных исследований установлено, что эффективность усиления рамной крепи анкерами определяется размером зоны разрушенных пород (ЗРП), образовавшейся вокруг выработки на момент установки анкеров. Так, при формировании к моменту усиления рамной крепи вокруг выработки ЗРП с размерами до половины глубины анкерования, остаточный размер не разрушенной оболочки из укрепленных анкерами пород составляет не менее 50% от глубины анкерования при  $\gamma_H/\sigma_{сж} = 0,35 \div 0,65$  уменьшает смещения контура выработок от 32 до 47 %.

## Выводы и направления дальнейших исследований

Выполненные лабораторные исследования позволили качественно и количественно оценить степень влияния усиления рамной крепи жесткими анкерами на процесс формирования вокруг выработки зоны разрушенных пород. Установленные особенности протекания деформационных процессов во вмещающем выработку массиве будут использованы для обоснования расчетной схемы и постановке теоретической задачи по определению рациональных параметров комбинированных крепей.

## Библиографический список

1. Указания по рациональному расположению, охране и поддержанию горных выработок на угольных шахтах СССР. ВНИМИ, 1986 – 222с.
2. СОУ 10.1.05411357.010:2008. Система обеспечения надежного и безопасного функционирования горных выработок с анкерным креплением. Общие технические требования. – 89 с.
3. Черев Д.А. Выбор параметров рамно-анкерной крепи на основе исследования закономерностей изменения внутренних усилий.: Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 225.0022 – Геотехнология (открытая, подземная и строительная), Екатеринбург, 2004.- 18с.

Поступила в редакцию 17.12.11

А. О. Новіков, І. Н. Шестопалов

*ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», Донецьк, Україна*

**Дослідження впливу посилення рамного кріплення анкерами на процес формування навкруги виробки зоні зруйнованих порід**

За допомогою моделювання на структурних моделях і моделях з еквівалентних матеріалів встановлено нові особливості деформування системи «рама – оболонка зі скріплених анкерами порід»

Ключові слова: виробка, модель, рама, оболонка зі скріплених анкерами порід, особливості деформування, система «рама – оболонка зі скріплених анкерами порід»

A. O. Novikov, I. N. Shestopalov

*Donetsk national technical university, Donetsk, Ukraine*

**Studies of the effect of strengthening frame supports with anchors on the process of development of the surrounding zone of fractured rock**

With the help of simulation models and structural models of equivalent materials installed new features of the deformation of the "frame - the shell of bonded anchors rocks"

Keywords: mining, model, frame, sheath bonded anchors rock deformation characteristics, the system "frame - the shell of the rock anchors fastened"